

V&V von LST-Komponenten ... von der Strecke ins Labor

Die zunehmende Modularisierung und Standardisierung von Komponenten der Leit- und Sicherungstechnik erlauben umfängliches und frühzeitiges Testen von Produkten oder Produktkombinationen im Labor. Im Folgenden wird vorgestellt, welche Methoden bereits etabliert sind und was künftig im Labor noch folgen wird. Die Möglichkeiten der Labore am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) werden ebenso erläutert wie die Grenzen, die sich für Labortests ergeben.



1. Einleitung

Leit- und Sicherungstechnik (LST) unterstützt Betriebspersonale bei der Durchführung eines sicheren und planmäßigen Bahnbetriebs. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an Korrektheit und Verfügbarkeit dieser Systeme und deren Komponenten.

Beispiele für LST-Systeme und deren Nutzung sind in Bild 1 aufgeführt. Ein wichtiger Bestandteil der Verifikations- und Validierungsstrategie (V&V) für solche sicherheitsrelevanten Systeme ist das Testen. Dabei gilt der Grundsatz, dass Abweichungen oder Fehler möglichst frühzeitig gefunden werden sollten, da die Behebung in früheren Phasen der Entwicklung oder Projektumsetzung deutlich günstiger ist, da in diesem Falle weniger Prozessschritte wiederholt werden müssen [15]. Durch zahlreiche Aktivitäten im Bereich der Modularisierung und Standardisierung von LST-Komponenten, bspw. ETCS oder NeuPro/EULYNX [13], wird es zunehmend möglich, betreiberseitige oder herstellerübergreifende Tests vom Feld ins Labor zu verlagern. Dies führt zu Aufwands- und Kostensenkungen.

2. Was bereits im Labor getestet wird

Ein wesentlicher Aspekt bei Labortests ist die Abgrenzung des zu testenden Systems, da nicht das komplett integrierte System in der Laborumgebung aufgebaut werden muss. Ein differenzierter Test auf der Ebene von Komponenten hat den Vorteil, dass

beispielsweise bei einer Weiterentwicklung nur diese Komponente getestet werden muss.

Die Durchführung funktionaler Tests ist bereits heute in weiten Bereichen Stand der Technik [2] – vor allem im Rahmen der Produktentwicklung durch die Hersteller. Doch mit der Standardisierung wird der Labortest auch betreiberseitig oder durch herstellerunabhängige Labore durchgeführt. So gibt es beispielsweise umfangreiche Erfahrungen im technischen und betrieblichen Testen von ETCS Komponenten [2] [3].

2.1. Konformität

Konformitätstests sind meist generisch und prüfen die Übereinstimmung eines Systems oder einer Komponente mit der zugrundeliegenden Spezifikation. Die Konformität ist besonders wichtig, wenn mehrere Hersteller ein System, bzw. Komponenten für ein System entwickeln. Insbesondere bei nicht-formalen Spezifikationen gibt es i.d.R. einen Interpretationsspielraum, der von verschiedenen Herstellern unterschiedlich ausgelegt werden kann bzw. erfahrungsgemäß wird. Eine standardisierte Testspezifikation, ggf. sogar ein Testnormal, erlaubt es, Abweichungen schon beim Test einzelner Komponenten aufzudecken.

Ein Beispiel sind die Konformitätstests von ETCS Fahrzeuggeräten [4], die in Form von Hardware-in-the-Loop (HiL) Tests im Labor durchgeführt werden. Das zu testende Gerät wird hierbei mit sämtlichen



Dr.-Ing. Michael Meyer zu Hörste

Geschäftsfeldentwicklung Bahnsysteme, DLR Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig

Michael.MeyerzuHoerste@dlr.de



Dr.-Ing. Mirko Caspar

Verifikations- und Validierungsmethoden, DLR Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig

Mirko.Caspar@dlr.de



Dipl.-Ing. Lennart Asbach

Gruppenleiter Verifikationstechnologien, DLR Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig

Lennart.Asbach@dlr.de



Dipl.-Inf. Oliver Röwer

Verifikationstechnologien, DLR Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig

Oliver.Roewer@dlr.de

Schnittstellen in ein Testgestell integriert [6] und mit rund 800 vorgegebenen Testsequenzen, die jeweils eine Fahrt an den verschiedenen Schnittstellen simulieren, auf funktionale Korrektheit und Vollständigkeit geprüft. Bild 2 verdeutlicht dies.

Entwicklungsphasen	Disposition			Operation								Traktion			Fahrzeug			
	Information (Zugmeldung)	zentrale Disposition (national)	vernetzte Disposition (international)	Fahweg prüfen	Fahweg einstellen	Fahweg sichern	Signale geben	Führerstandsignalisierung	einheitliche Signalisierung	Zugfolge sichern	Räumung der Strecke prüfen	Hinderniserkennung / Kollisionserkennung	Halt-Signale beachten	Ständige Überwachung der Geschwindigkeit	Ständige Regelung der Zug- und Bremskräfte	Überwachung / Sicherung Fahrgastwechsel		Störungserkennung und -behandlung
0																		mündliche Aufträge, Winkzeichen
1																		ortsfeste optische Signale
2																		Stellwerke, Signalabhängigkeit
3																		Streckenblock, Zugeinwirkung
4																		Gleisstromkreise in Bahnhöfen
5													GoA1					Induktive Zugbeeinflussung (INDUSI)
6																		Gleisstromkreise auf Strecken, Achszählkreise
7																		Zugnummernmelder, Zugzeitendrucker
8																		Selbststellbetrieb, Selbststellblock
9																		Linienzugbeeinflussung (LZB)
10															GoA2			Automatische Fahr- und Bremssteuerung (AFB)
11																		Multifunktionsanzeigergerät (MFA)
12																		rechnergesteuerte Betriebszentrale (BZ)
13																		Europäische Zugbeeinflussung (ERTMS-ETCS)
14																		europäisches Dispositionsnetzwerk (ERTMS-ETML)
15												GoA3						Automatische Hinderniserkennung
16																		Automatisierte Abfertigung
17																	GoA4	Automatische / zentralisierte Fahrzeugdiagnostik

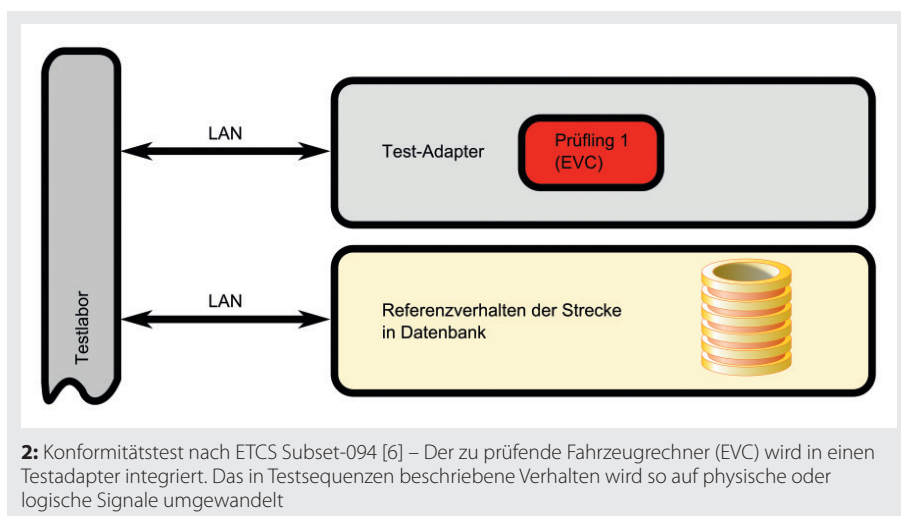
1: Entwicklungsschritte der LST [1] – Neue Ansätze und Verfahren (rechts, aufsteigend) basieren auf aufwändigeren technischen Systemen, die zunehmend auch sicherheitsrelevante Aufgaben übernehmen

2.2. Interoperabilität

Die Interaktion bzw. Kommunikation von Teilsystemen einer modularen LST-Gesamtarchitektur erfolgt über standardisierte Schnittstellen, bspw. die ETCS Sprache [4] oder die SCI von NeuPro/EULYNX [14]. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die Systemspezifikationen und damit auch die Testspezifikationen meist nicht derart präzise sind, dass nach bestandenen Konformitätstests zwangsläufig auch die Interoperabilität zwischen verschiedenen Produkten in jedem Falle gewährleistet ist. Ursache sind häufig zeitliches Verhalten oder verschiedene Sequentialisierungen paralleler Aktivitäten.

Diese Unsicherheit wird durch Interoperabilitätstests im Labor bereits erheblich reduziert. Dabei werden nicht mehr konkrete Anforderungen aus der Systemspezifikation an einzelnen Komponenten getestet, sondern projektspezifisches Verhalten mehrerer interagierender Produkte.

Am Beispiel von ETCS wird nicht nur der Fahrzeugrechner, sondern ebenso das RBC in die Tests eingebunden [3]. Der Fahrzeugrechner wird also unmittelbar gegen eine Laborinstanz des späteren RBCs getestet. Die getesteten Szenarien orientieren sich dabei meist an konkreten Projektanforderungen bzw. realen Betriebsszenarien und konzentrieren sich auf Fälle, die die Interaktion zwischen den beteiligten Komponenten bedingen. Derartige Tests sind in den



ETCS-Subsets 110 [9], 111 [10] und 112 [11] beschrieben.

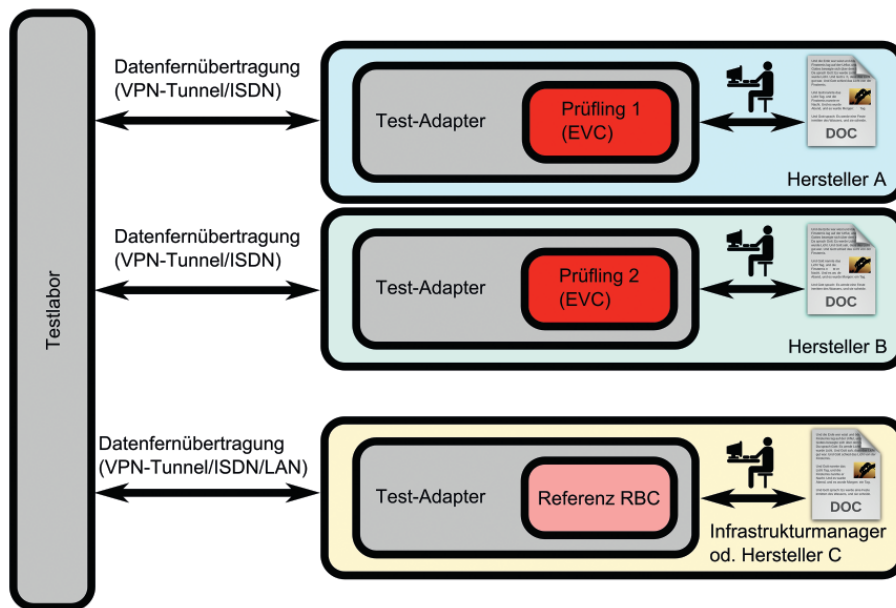
2.3. Betriebliche Tests

Im Rahmen der Konformitätstests werden einzelne Anforderungen in zumeist zufälliger Abfolge getestet, die sich nicht an den (nationalen oder betreiberspezifischen) betrieblichen Realitäten orientieren. Da eben diese Abfolge in zustandsbasierten Systemen Einfluss auf das Verhalten haben kann, treten in der Praxis auch immer wieder Probleme bei einzelnen Funktionsfolgen auf – insbesondere im konkreten Zusammenspiel vieler Einzelkomponenten.

Um solche Probleme nicht erst „im Betrieb“ zu finden, werden zunehmend auch betriebliche Tests im Labor durchgeführt. Die technische Umsetzung ist hier meist identisch zu den Konformitäts- oder Interoperabilitätstests [1] [2]. Allerdings werden die Testfälle bzw. -sequenzen aus realen Betriebsszenarien heraus erstellt oder aufgezeichnet.

2.4. Validierung von Projektierungen

Konformitätstests werden zur generischen Überprüfung von Systemen durchgeführt und basieren auf testspezifischen Bahnanlagen (ggf. auch Musteranlagen). Un-



3: Interoperabilitätstest nach ETCS Subset-111 [10] – Mehrere zu prüfende Systeme werden über Datenleitungen verbunden. Weitere Systeme können durch die Laborumgebung simuliert werden

abhängig davon müssen Konfigurationen und Projektierungen, mit denen die generischen Systeme auf die jeweilige Anlage angepasst werden, auf Korrektheit hin überprüft werden. Auch dies erfolgt in aller Regel im Labor, da hier die Bedingungen für die Testdurchführung und -auswertung deutlich besser sind.

Die Validierung der Projektierung erfolgt auch im Rahmen weiterer Prozesse, bspw. der Abnahme.

3. Was künftig noch im Labor getestet wird

Bisher oblag der Test von LST-Komponenten in erster Linie den Produktherstellern. Neue Architekturen und standardisierte Schnittstellen führen in Kombination mit neuen Lieferantenkonstellationen aber auch zu mehr Verantwortung seitens der Betreiber bzw. unabhängiger Instanzen – insbesondere bei der Integration. Auch diese haben Interesse, möglichst viele Nachweise bereits im Labor zu testen, bevor die Anlagen im Feld installiert werden.

3.1. Generische Interoperabilität

Projektspezifische Interoperabilitätstests sind bereits üblich (vgl. Abschnitt 2.2). Sollen bestimmte Produktkombinationen jedoch häufig zur Anwendung kommen, ist ein generischer Interoperabilitätstest sinnvoll. Hier kann der vollständige Funktionsumfang und Parameterraum der Schnitt-

stellenspezifikationen geprüft werden, so dass ein Einsatz der Produktkombination für weitere spezifische Anlagen oder Projekte ohne zusätzliche Prüfung möglich ist. Entsprechend können auch Regressions-tests bei Systemänderungen geprüft und auf alle in Betrieb befindlichen Anlagen ausgerollt werden.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Produktkombinationen zu erreichen, sollten auch hier standardisierte Testspezifikationen zum Einsatz kommen. Des Weiteren sind u.a. folgende Aspekte bei der Umsetzung dieser Tests im Labor bzw. in Laboren zu berücksichtigen:

- Kommunikation zwischen den Laboren (insbesondere herstellerübergreifend)
- Effizienz (Automatisierung der Testdurchführung, Auswertung, ...)
- Umsetzung von Fehler- und Defektsimulation

3.2. Übertragungssysteme und Security

Mit dem zunehmenden Einsatz IP-basierter Kommunikationssysteme für die Vernetzung von LST-Komponenten rückt auch der Test des gesamten Übertragungssystems in den Fokus. Darin inbegriffen sind auch die Verfahren zur technischen Umsetzung von Security-Anforderungen, die aufgrund gesetzlicher Regelungen zur Sicherung der Kommunikation einzusetzen sind.

Beim Test dieser Systeme stehen weniger funktionale Parameter im Vordergrund.

Vielmehr ist es das Ziel, die korrekte Konfiguration der zahlreichen Komponenten (Switches, Router, ...) nachzuweisen sowie die Leistungsfähigkeit (Latenzen, Bandbreiten, ...) unter bestimmten Betriebs- und Wartungsbedingungen zu prüfen.

Hierzu ist es notwendig, sämtliche Instanzen der Netzwerkarchitektur entsprechend im Labor nachzubauen. Dies umfasst auch Systeme, die nicht für den eigentlichen LST-Betrieb notwendig sind. Typische Beispiele hierfür sind zentrale Stellen, an denen das Netzwerk und die Security-Komponenten überwacht und gewartet werden.

Besonderes Augenmerk bei der Definition der Tests muss auf der Nachbildung realistischer Datenströme liegen. In aller Regel werden bei den Labortests keine LST-Komponenten eingesetzt, so dass deren Verhalten durch Lastgeneratoren nachgebildet werden muss.

3.3. Gesamtsystemtests

Neue Architekturkonzepte und steigende Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der LST-Systeme zwingen auch zu einer frühzeitigen Betrachtung des Gesamtsystems im Labor. Hier stehen nun nicht einzelne Teilsysteme bzw. deren Interaktion im Fokus, sondern die gesamte Wirkkette, bspw. von der Bedienhandlung durch den Fahrdienstleiter bis zur Anzeige eines Fahrtauftrags auf dem DMI eines EVCs.

Ziel dieser Tests ist zum einen die Validierung der zugrundeliegenden Spezifikationen. Diese werden wegen der Komplexität von verschiedenen Arbeitsgruppen oder Institutionen erstellt. Eine Konsistenz in der funktionalen Verteilung der Gesamtarchitektur kann im Falle von Gesamtsystemtests bereits im Labor nachgewiesen werden.

Sinnvoll ist dies vor allem bei deutlichen Änderungen in den Anforderungsspezifikationen, bspw. bei der aktuellen Einführung von NeuPro / Eulynx im Zusammenspiel mit vereinheitlichten Bediensystemen (iBS) und ETCS. Hier können neben Inkonsistenzen im Zusammenspiel der einzelnen Spezifikationen auch Lücken aufgedeckt werden, die zwar zu korrekt implementierten Produkten führen, jedoch die Gesamtsystemfunktion nicht oder nur mit Einschränkungen erbringen.

Des Weiteren erlaubt ein Gesamtsystemtest auch Aussagen über nichtfunktionale Leistungsfähigkeit. So ist es bspw. möglich, die Verzögerungszeiten von spe-

zifischen Produktkombinationen zu bewerten und somit im Sinne der Kapazitätssteigerung zu optimieren.

Nicht zu unterschätzen ist in diesem Zusammenhang jedoch der technische und organisatorische Aufwand, der sich allein durch die Vielzahl beteiligter Hersteller und Labore ergibt.

4. Laborinfrastruktur im DLR

Das DLR betreibt an seinem Standort in Braunschweig verschiedene Labore, die V&V für Bahnsysteme und andere Branchen ermöglichen.

4.1. Das RailSiTe®

Das RailSiTe® ist ein modulares Hardware-in-the-Loop Prüflabor nach ISO-EN17025 für Konformitätstests von ETCS-Fahrzeuggeräten akkreditiert. Eine Besonderheit des Labors ist seine Präzision und Detailgenauigkeit. Testfälle können auf betrieblicher Ebene eingelesen werden, während der Prüfling seine notwendigen Stimuli trotzdem auf physikalischer Ebene empfängt. Das Labor ist vom Zielsystem prinzipiell unabhängig. Für neue Schnittstellen werden neue Testadapter zwischen Prüfling und Labor erstellt. Für die Prüfung von ETCS-Fahrzeugrechnern nach Subset-076 [5] und 094 [6] ist ein solcher Adapter seit mehreren Jahren im Einsatz. Bild 4 gewährt einen Blick in einen der Laborräume.

Derzeit wird das Labor für die Konformitäts- und Systemtests von Infrastrukturkomponenten, bspw. nach den NeuPro oder EULYNX-Spezifikationen erweitert

und akkreditiert. So wird die Integration von Stellwerken, Bahnübergängen, Bedienplätzen oder Funkblockzentralen künftig möglich sein.

Testspezifikationen können hierbei auch automatisch aus aufgezeichneten realen Betriebsdaten, bspw. den JRU-Aufzeichnungen eines ETCS-Fahrzeugrechners, erzeugt werden. Mit einer zugehörigen Referenz können einzelne Reaktionen der Systeme auf die entsprechenden Anforderungen der Spezifikationen abgebildet werden. Betriebliche Tests können somit schnell erstellt und Abweichungen identifiziert werden.

4.2. RailSET®

Auch ergonomische Untersuchungen des Triebfahrzeugführer Arbeitsplatzes sind am DLR möglich. Hierfür wurde ein Führerpult in einem Mockup des dazugehörigen Führerstandes installiert. Die Umgebung aus Sicht des Lokführers wird im RailSET® oder auch im Virtual Reality Labor des DLR visualisiert. Bei der Simulation eines Verkehrsknotens kommt es zudem auf die wirklichkeitsnahe Darstellung des zeitlichen Verhaltens möglichst vieler Züge an. Das Braunschweiger Bahnlabor ist in der Lage, dieses und viele weitere Prozesse und Situationen nachzustellen.

4.3. RailDrive®

Tests, die weniger funktionales Verhalten, sondern physikalische Zusammenhänge betreffen, sind in der Regel einfacher mit Versuchsfahrten umzusetzen. Für diese

Zwecke hat das DLR ein Versuchsfahrzeug mit der Bezeichnung Rail Driving Validation Environment – RailDrive® aufgebaut. Dieses Fahrzeug kommt zum Einsatz, wenn analoges Verhalten, z. B. im optischen oder elektromagnetischen Sinne, zu untersuchen ist. Dies kann z. B. bei der Ausbreitung von Funkwellen für Kommunikations- oder Satellitenortungssysteme oder auch bei optischen Systemen der Hinderniserkennung der Fall sein. Das RailDrive® ist mit einer Vielzahl von Mess- und Kommunikationssystemen für verschiedene Einsatzfälle ausgerüstet [12].

5. Grenzen des Labortests

Neben allen genannten Vorteilen des frühzeitigen Testens im Labor gibt es natürlich auch Grenzen, die in einer Gesamtstrategie für V&V berücksichtigt werden müssen.

5.1. Technische Umsetzung

Der Labortest typischer LST-Komponenten wird zumeist als Hardware-in-the-Loop Test (HiL) konzipiert und durchgeführt. Hierin haben insbesondere die Hersteller der Komponenten große Erfahrungen und ihre Labore für ihre Produkte und Anforderungen eingerichtet.

Schwieriger wird die Einbindung mehrerer Komponenten in einen Test. In den meisten Konstellationen sind hier auch mehrere Hersteller bzw. Lieferanten und damit auch verschiedene Labore involviert.

Hier ergeben sich technische Herausforderungen. Zum einen muss die Übertragung von Prozessdaten zwischen den

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR /
Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
genehmigt von DVV Media Group, 2019



4: Ein Blick ins RailSiTe® – Verschiedene LST-Komponenten können hier einzeln und in Kombination getestet werden

Während der Test einzelner LST-Komponenten im Labor bereits gängige Praxis ist, werden mittlerweile auch vermehrt System- oder Produktkombinationen im Labor geprüft.

beteiligten Laboren bewerkstelligt werden. Diese kann über dedizierte Leitungen oder auch über öffentliche Netzwerke (entsprechend gesichert, bspw. per VPN) ermöglicht werden. Die gesamte Übertragungskette muss dabei natürlich weiterhin die Spezifikationen erfüllen (Latenzen, Bandbreiten, ...) und die Streuung möglichst gering sein. Testfälle, die eine „schnelle“ Kommunikation benötigen, sind in dieser verteilten Konstellation kaum ausführbar. Die Erfahrung zeigt, dass aber gerade hierbei Probleme, bspw. durch verschiedene Sequenzierung paralleler Aktivitäten, entstehen können. Eine Überwachung der Fernübertragungsparameter während der Testdurchführung ist für die Auswertung in jedem Falle ratsam.

Testfälle beschreiben in aller Regel Aktivitäten oder Ereignisse an verschiedenen am Test beteiligten Komponenten. Dies bedingt, dass auch der Zugriff auf die jeweiligen Systeme in den Laboren während der Testausführung koordiniert werden muss. Dies gestaltet sich jedoch praktisch schwierig, da es kaum standardisierte Schnittstellen für die Laboreinrichtungen gibt.

Weitere technische Herausforderungen sind u.a. die Zeitsynchronisation zwischen den Laboren sowie ein geeignetes Logging (insbesondere bei Einsatz von Security/Verschlüsselung).

5.2. Komplexe Eingangsdaten

Klassische LST-Komponenten sind zeitdiskrete Kontrollsysteme und verfügen über eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Ein- und Ausgängen mit jeweils beherrschbaren Wertebereichen. Entsprechend können Testfälle vollständig beschrieben werden.

Mit den Bestrebungen zur „Digitalisierung“ des Eisenbahnsektors kommen nun auch vermehrt datengetriebene Ansätze auf. Typische Beispiele sind Bildverarbeitungsalgorithmen oder auch „Fibre Optical Sensing“ [7].

Viele Verfahren zur Umsetzung basieren auf maschinellem Lernen zur Erkennung bestimmter Muster. Für derartige Verfahren ist es schwer bis unmöglich, konkrete Testfälle auf Basis von Stimuli zu definieren. Genutzt werden können nur Aufzeichnungen von realen Messungen (Kamerabilder, Sensordaten, ...). Dies führt jedoch wieder zu praktischen Problemen, da zur Speicherung und Wiedergabe dieser Aufzeichnungen erhebliche Ressourcen (Rechner, Netzwerk, ...) nötig sind.

Außerdem stellt sich die Frage nach der Aussagekraft der Tests sowie nach der Testabdeckung. Da eine synthetische Erzeugung der komplexen Eingangsdaten auf Basis von analytischen Modellen bisher kaum möglich ist, eignen sich Tests im Labor allenfalls für vergleichende Regressionstests.

5.3. Hybrider Ansatz

Die vollständige V&V von klassischen LST-Komponenten und neuen Ansätzen nur im Labor durchzuführen, ist folglich sehr aufwändig oder nicht möglich. Es bedarf kombinierter Ansätze.

Da das Testen im Feld (Betrieb) mit enormen Aufwänden verbunden ist, wäre ein „Frei-luftlabor“ ein interessanter hybrider Ansatz, um Labor und Realität zu kombinieren. Dies haben Betreiber, Industrie und Forschung erkannt. So werden derzeit Planungen für den „Smart Rail Connectivity Campus“ Annaberg-Buchholz vorangetrieben, der auch eine befahrbare aber im Regelbetrieb nicht genutzte Teststrecke beinhaltet [8].

Hier wird es möglich sein, ohne Behinderung des Betriebs und ohne massive Auflagen Versuche auf einer realen Bahnstrecke durchzuführen. Versuchsbedingungen können in Grenzen an die jeweiligen Erfordernisse angepasst werden. So wird eine praktische Erprobung von Produkten ebenso möglich sein, wie eine funktionale Validierung neuer Ansätze.

6. Zusammenfassung

Während der Test einzelner LST-Komponenten im Labor bereits gängige Praxis ist, werden mittlerweile auch vermehrt System- oder Produktkombinationen bereits im Labor geprüft. Dies erlaubt eine deutliche Steigerung der Testeffizienz. Es ist zu erwarten, dass dadurch Probleme, die bisher erst beim Test im Feld oder gar im Betrieb gefunden wurden, eher aufgedeckt und behandelt werden können.

Mit steigender praktischer Erfahrung der Beteiligten wird auch die Gesamtstrate-

gie für V&V an die Möglichkeiten und Grenzen des Labortests angepasst werden. Dies beschleunigt nicht nur die Entwicklung und Inbetriebsetzung von Produkten, sondern auch die Erprobung neuer Technologien und Verfahren.

Literatur

- [1] Meyer zu Hörste, Michael: „Methodische Analyse und generische Modellierung von Eisenbahnleit- und -sicherungssystemen“, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2004.
- [2] Ebrecht, Lars; Meyer zu Hörste, Michael und Steinhäuser, Ingo: „Technisches und Betriebliches Testen für die Eisenbahnsicherungstechnik“, Eisenbahn Ingenieur Kalender 2013, S. 163 – 172, EurailPress, Hamburg, 2012.
- [3] Iglesias, Jorge und Meyer zu Hörste, Michael: „Remote testing of ETCS Operational Scenarios“, CCRCC, Valenciennes, 15.11.2017.
- [4] UNISIG: „ERTMS/ETCS – Class 1: System Requirements Specification. SUBSET-026“
- [5] UNISIG: „ERTMS/ETCS – Class 1: Test Sequences. SUBSET-076-6-3“
- [6] UNISIG: „ERTMS/ETCS – Class 1: UNISIG Functional Requirements for an on board Reference Test Facility. SUBSET-094“
- [7] Schubert, Max und Pohl, Patrick: „Fiber Optic Sensing im Eisenbahnsektor“. EI – Der Eisenbahningenieur (11/17).
- [8] Smart Rail Connectivity Campus. Projektinternetseite: www.smart-rail.cc, abgerufen am 03.01.2019.
- [9] UNISIG: „ERTMS/ETCS – Class 1: UNISIG Interoperability Test Guidelines. Specifications. ETCS subset 110“
- [10] UNISIG: „Interoperability Test Environment Specifications. ETCS subset 111“
- [11] UNISIG: „Basics for Interoperability Test Scenario Specifications. ETCS subset 112“
- [12] Lüddecke, Katrin und Kluge, Andreas: „Mobiles Labor RailDrIVE – Synchrone Erfassung von Sensordaten“. EI – Der Eisenbahningenieur (01/14), Seiten 46 – 49.
- [13] EULYNX Initiative: „EULYNX Concept“ (EU.Doc.6). Version 2.0, 30.11.2017, Url: www.eulynx.eu/index.php/documents/documents-overview
- [14] EULYNX Initiative: „EULYNX System definition“ (EU.Doc.7). Version 3.0, 29.11.2018, Url: www.eulynx.eu/index.php/documents/documents-overview.
- [15] R.S. Pressman: Software Engineering: A Practitioner's Approach. 5th Edition, McGraw-Hill, 2001

Summary

V&V of CCS components – shifting from field to lab

While testing components in the laboratory is already common practice, more and more systems or products are already being tested in the laboratory. This allows a significant increase in test efficiency. It is to be expected that problems that were previously found during field testing or operation can now be detected and dealt with more easily. With increasing practical experience, the overall V&V strategy will be adapted to the possibilities and limits of laboratory testing, too. This accelerates not only the implementation of products but also the testing of new technologies and processes.